



## Guides d'onde optiques plans à base de silicium poreux dopés aux ions $\text{Er}^{3+}$

Nathalie Lorrain, Adel Najar, Hosni Ajlani, Joël Charrier, Meherzi Oueslati,  
Lazhar Haji

### ► To cite this version:

Nathalie Lorrain, Adel Najar, Hosni Ajlani, Joël Charrier, Meherzi Oueslati, et al.. Guides d'onde optiques plans à base de silicium poreux dopés aux ions  $\text{Er}^{3+}$ . Séminaire PONANT 2010, Jul 2010, Rennes, France. pp.12-14. hal-01150796

**HAL Id: hal-01150796**

**<https://hal.science/hal-01150796>**

Submitted on 12 May 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**GUIDES D'ONDE OPTIQUES PLANS A BASE DE SILICIUM POREUX DOPES AUX IONS ER<sup>3+</sup>**

**Adel Najar<sup>†1,2,3</sup>, Nathalie Lorrain<sup>\*1,2</sup>, Hosni Ajlani<sup>3</sup>, Joël Charrier<sup>\*1,2</sup>, Meherzi Oueslati<sup>3</sup>, Lazhar Haji<sup>\*1,2</sup>**

<sup>1</sup> Université Européenne de Bretagne, Enssat<sup>†</sup>, IUT-Lannion<sup>\*</sup>, 35000 Rennes

<sup>2</sup> CNRS, UMR 6082 Foton, Enssat, BP 80518, 22305 Lannion cedex

<sup>3</sup> Faculté des Sciences de Tunis, Laboratoire de Spectroscopie Raman, El Manar Tunis  
nathalie.lorrain@univ-rennes1.fr

**RESUME**

Des études par microanalyse X et par Photoluminescence (PL) dans l'IR ont été effectuées sur des guides d'onde plans à base de silicium poreux dopés Erbium en fonction des conditions de dopage (cathodisation électrochimique et traitements thermiques). En faisant varier la densité de courant et la durée de cathodisation, nous avons montré que le dopage est homogène dans toute la profondeur de la couche de guidage pour une densité de courant égale à 0.1 mA/cm<sup>2</sup> pendant 10 minutes. Ensuite, l'intensité intégrée de PL autour de 1.55 µm a été étudiée en fonction de la durée d'oxydation à 900 °C d'une part et en fonction de la température de diffusion et d'activation pendant 60 minutes d'autre part.

**MOTS-CLEFS :** *Silicium Poreux ; Dopage Erbium; EDX, Photoluminescence.*

**1. INTRODUCTION**

Dans les dispositifs miniaturisés, la fonction d'amplification est nécessaire pour compenser l'atténuation du signal dans les guides. Le dopage de matériaux aux ions erbium permet de réaliser cette fonction. En effet, grâce à leurs propriétés spectroscopiques, les ions erbium présentent une transition de l'état métastable <sup>4</sup>I<sub>13/2</sub> vers l'état fondamental <sup>4</sup>I<sub>15/2</sub> dans le proche IR autour de la longueur d'onde de 1.55 µm, utilisée dans les télécommunications [1]. Le silicium poreux a été largement utilisé comme matrice hôte car il présente les avantages de moduler aisément son indice de réfraction pour la réalisation des guides d'onde optiques, et d'avoir une surface spécifique élevée permettant d'introduire les ions erbium en forte concentration [2]. Des concentrations des ions Erbium de l'ordre de 10<sup>19</sup> – 10<sup>20</sup> at./cm<sup>3</sup> sont nécessaires pour obtenir un gain appréciable sur des longueurs de guides de 4 cm [3]. Dans ce papier, nous présentons des résultats de recherche des conditions de dopage par la méthode électrochimique (densité de courant et durée) permettant d'obtenir après des traitements thermiques une incorporation homogène des ions erbium, notamment dans la couche guidante. Puis les effets des conditions des traitements thermiques sur la PL autour de 1.55 µm sont étudiés.

**2. CONDITIONS D'ELABORATION ET METHODES DE CARACTERISATION**

Une anodisation électrochimique de substrats de silicium (100) de type P+ (4-6 mΩ.cm) dans une solution électrolytique de HF (20 %) a permis de réaliser des guides plans en appliquant successivement deux densités de courant différentes de 50 et de 80 mA/cm<sup>2</sup>. Le dopage des guides par les ions erbium a été réalisé par la méthode électrochimique à partir d'une solution saturée de chlorure d'erbium. Les guides ont ensuite subi un traitement thermique d'oxydation nécessaire pour permettre d'une part l'oxydation totale du silicium poreux afin de limiter l'absorption pour le guidage et d'autre part, pour obtenir un environnement d'oxygène permettant l'activation optique. Cette oxydation a été suivie par un traitement thermique à plus haute température pour permettre la diffusion et l'activation des ions erbium. Afin d'estimer

d'obtenir les profils de concentration des ions erbium après traitements thermiques dans les différentes couches des guides plans, nous avons utilisé la microscopie électronique à balayage couplée à des microanalyses X en dispersion d'énergie (EDX). Les mesures de photoluminescence dans l'Infra rouge ont été réalisées au laboratoire de Spectrométrie Raman de la faculté des sciences de Tunis à partir d'une excitation par un laser Ar<sup>+</sup> à 488 nm.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le dopage des guides plans en silicium poreux a été initialement effectué en appliquant une densité de courant égale à 1 mA/cm<sup>2</sup> pendant 10, 20 ou 30 minutes. Pour toutes ces durées, les profils de concentration ont révélé une répartition inhomogène des ions erbium dans la couche guidante avec des concentrations d'erbium qui restent élevées (supérieures à 10<sup>21</sup> at./cm<sup>3</sup>).

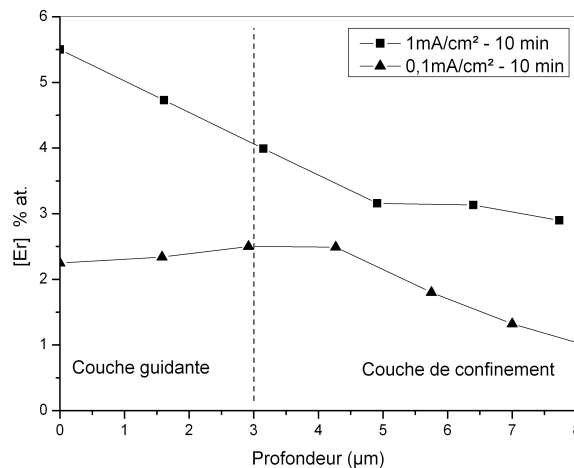


Fig. 1 : Profils de concentration d'erbium après traitements thermiques déterminés par EDX pour deux densités de courant égales à 0.1mA/cm<sup>2</sup> et à 1 mA/cm<sup>2</sup> appliquées pendant 10 minutes. L'incertitude tenant compte des écarts de concentrations entre les différentes zones analysées est estimée à 0.25% at.

De telles concentrations diminuent l'efficacité de l'intensité de la PL en étant à l'origine de phénomènes de transfert d'énergie entre ions voisins [4]. La diminution de la densité de courant à 0.1 mA/cm<sup>2</sup> appliquée pendant 10 minutes a permis de réduire la concentration des ions erbium et surtout de rendre homogène la répartition des ions dans la couche guidante (Fig. 1). La concentration obtenue de 6.10<sup>20</sup> at./cm<sup>3</sup> se situe dans la gamme optimale et est comparable à celle atteinte dans d'autres matrices [5].

L'efficacité de la photoluminescence à température ambiante pour une matrice donnée dépend des températures et des durées des traitements thermiques ayant pour rôle la diffusion et l'activation des ions erbium. De plus, il a été démontré que l'erbium présente une intense luminescence en présence d'oxygène dans la matrice. Henley et. al [6] ont rapporté que l'erbium est actif optiquement sous la forme de complexes Er-O et Si-O-Er alors que des complexes Er-Si ne le seraient pas. Nous avons tout d'abord étudié l'effet de la variation de la durée d'oxydation à 900 °C sur l'intensité de PL. La figure 2 présente les spectres de PL obtenus pour des temps de 5, 10, 30, 60 et 120 minutes. Le pic de PL centré à 1.53 μm correspond à la désexcitation du niveau excité <sup>4</sup>I<sub>13/2</sub> vers le niveau fondamental <sup>4</sup>I<sub>15/2</sub>. Vers les longueurs d'onde plus élevées, les différents spectres montrent un épaulement qui est associé à des transitions provenant d'une levée de dégénérescence des niveaux due à l'effet Stark. Nous constatons que l'intensité de PL autour de 1.55 μm est maximale pour une durée de 60 minutes. Pour les durées étudiées en deçà de 60 minutes, l'oxydation ne devant pas être complète, les complexes actifs Si-O-Er sont formés en moins grande quantité. Au-delà de 60 minutes, l'oxydation serait totale et la diminution de l'intensité de PL pourrait être attribuée à une ségrégation de complexes actifs favorisant les

phénomènes de transfert d'énergie entre ions Erbium voisins [4]. L'effet de la température de recuit sur l'intensité de PL est présenté sur la figure 3 sur laquelle nous pouvons constater une intensité maximale de la photoluminescence pour la température de 1000 °C. Pour des températures inférieures à 1000 °C, les ions erbium ne pourraient pas diffuser complètement à l'intérieur des cristallites de silice et resteraient alors plus en périphérie, favorisant aussi le phénomène de transfert d'énergie entre ions voisins. Ce phénomène expliquerait aussi la diminution de l'intensité de la photoluminescence à 1100 °C, qui serait favorisée quant à elle par une ségrégation des complexes actifs Si-O-Er.

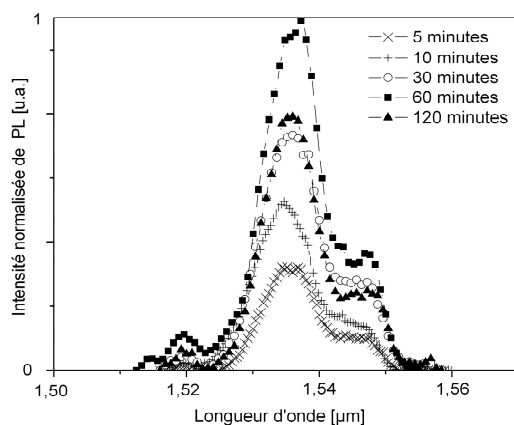


Fig. 2 : Spectre de photoluminescence de guides plans dopés erbium oxydés à 900 °C pendant des durées de 5, 10, 30, 60 ou 120 minutes et recuit à 1000 °C pendant 2 heures sous flux de N<sub>2</sub>.

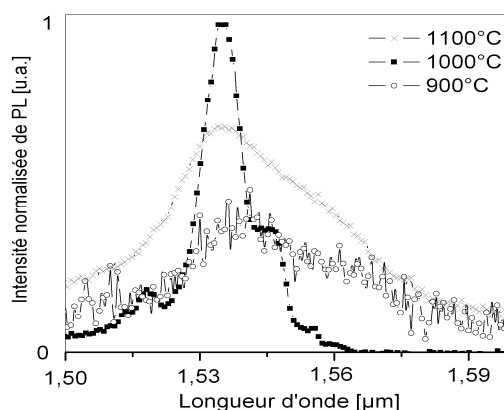


Fig. 3 : Spectre de photoluminescence de guides plans dopés erbium oxydés à 900 °C pendant 60 minutes et recuit à 900 °C, 1000 °C ou 1100 °C pendant 2 heures sous flux de N<sub>2</sub>.

### CONCLUSION

Dans cette communication, nous avons tout d'abord étudié les effets des paramètres électrochimiques sur la concentration et le profil de dopage en ions erbium dans des guides plans après traitements thermiques. Une densité de courant de 0.1 mA/cm<sup>2</sup> appliquée pendant 10 minutes permet l'obtention d'un profil homogène avec une concentration de  $6.10^{20}$  at./cm<sup>3</sup> qui se situe dans la gamme visée. Puis les effets de la durée d'oxydation et de la température du recuit de diffusion sur l'intensité de la PL autour de 1.55 μm ont été étudiés. Une durée d'oxydation de 1 heure à 900 °C suivie d'une température de recuit de 1000 °C sous flux de N<sub>2</sub> permet d'obtenir une intensité maximale de PL. Dans ces conditions, l'oxydation est totale et la diffusion des ions erbium est optimale pour la formation de complexes actifs Si-O-Er sans phénomène de ségrégation qui serait à l'origine de transfert d'énergie abaissant l'intensité de PL.

### RÉFÉRENCES

- [1] A. Polman, « Erbium implanted thin film photonic materials », J. Appl. Phys., vol 82, pp 1-39, 1997.
- [2] R. Hérino, G. Bomchil, K. Barla, C. Bertrand and J.L. Ginoux, « Porosity and pore size distributions of porous silicon layers », J. Electrochem. Soc., vol 134, n°8, pp 1611, 1983.
- [3] P.G. Kik, « Energy transfer in Erbium doped optical waveguides based on silicon », PhD Thesis, FOM-Institute for atomic and molecular physics, Netherlands, 2000.
- [4] P. G. Kik and P. Polman, « Cooperative upconversion as the gain-limiting factor in Er doped miniature Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> optical waveguide amplifiers », J. Appl. Phys., vol 93, n°9, pp 5008, 2003.
- [5] Y.C. Yan, A.J. Faber, H. de Waal, P. G. Kik and A. Polman, Erbium-doped phosphate glass waveguide on silicon with 4.1 dB/cm gain at 1.535 μm », Appl. Phys. Lett., vol. 71, n°20, pp2922, 1997.
- [6] W. Henley, Y. Koshka, J. Lagowski and J. Siejka, « Infrared photoluminescence from Er doped porous Si », J. Appl. Phys., vol. 87, n°11, pp 7848, 2000